

SKRIPSI

**ANALISIS PERUBAHAN KADAR Cu, Au, dan Ag DALAM
KONSENTRAT TEMBAGA BERDASARKAN *BASED
TIME SISTEMATIC SAMPLING***

Disusun dan diajukan oleh

**OFIR MARTHEN PALALLO
D061 20 1023**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

SKRIPSI

ANALISIS PERUBAHAN KADAR Cu, Au, Dan Ag DALAM KONSENTRAT TEMBAGA BERDASARKAN *BASED TIME SYSTEMATIC SAMPLING*

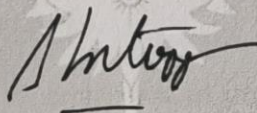
Disusun dan diajukan oleh

OFIR MARTHEN PALALLO

D061 20 1023

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik
Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 25 November 2024

Menyetujui,
Pembimbing



Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM
NIP. 19650928 200003 1 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19711214 200501 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ofir Marthen Palallo
NIM : D061 20 1023
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS PERUBAHAN KADAR Cu, Au, DAN Ag DALAM KONSENTRAT TEMBAGA BERDASARKAN BASED TIME SYSTEMATIC SAMPLING”

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.


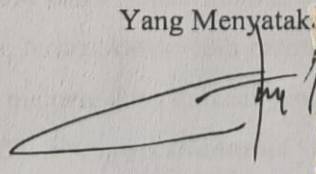
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak mana pun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, November 2024

Yang Menyatak:



Ofir Marthen Palallo
NIM. D061 20 10

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa berkat dan kasih-Nya kita selalu diberikan rahmat kesehatan dan kehidupan sehingga proses penyusunan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Perubahan Kadar Cu,Au,dan Ag dalam Konsentrat Tembaga Berdasarkan *Based Time Systematic Sampling***” dapat berjalan lancar dan selesai dengan bantuan-Nya.

Skripsi ini di buat sebagai suatu langkah untuk menyelesaikan strata satu pada Deprtemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.** sebagai Ketua Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Unversitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM** sebagai Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
3. **Bapak Dr. Ir. Safri Burhanuddin, DEA dan Ibu Dr. Eng. Meutia Farida S.T., M.T.** sebagai dosen penguji yang memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik.
4. **Bapak dan Ibu Dosen** pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu, bimbingan dan nasehatnya yang telah diberikan.
5. **Bapak dan Ibu Staf** Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
6. **Bapak Abraham Datu** selaku mentor saya selama melaksanakan magang di PT. Freeport, terima kasih telah membimbing saya sehingga saya dapat menyelesaikan magang dengan hasil yang maksimal.
7. **Management PT. Freeport Indonesia** yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk magang di PT. Freeport Indonesia. Suatu pengalaman

yang tidak terlupakan dan sangat berkesan bisa bergabung dan bekerja bersama bapak/ibu.

8. **Seluruh Staf PT. Freeport** yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terima kasih atas keramahannya yang tidak akan saya lupakan. Semoga suatu saat kita dapat berkolaborasi lebih dalam dunia pertambangan
9. Kedua **Orang Tua tercinta** yang selalu menjadi motivasi dan penyemangat bagi penulis, yang tiada henti-hentinya memberikan kasih sayang. Terima kasih untuk doa, material dan dukungan yang telah diberikan sehingga penulis bisa berada dititik ini. Sehat selalu bapak dan ibu, hidup lebih lama dan berada di setiap perjalanan, pencapaian hidup, sampai penulis menjadi orang sukses dan bisa membanggakan kalian.
10. Saudari **Nur Hikmah Widyaningsih** yang menjadi partner selama melaksanakan magang dan pengambilan data di PT. Freeport. Terima kasih atas support dan nasehatnya hingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dan menjadi pribadi yang lebih baik.
11. Saudara Mozard, Aidil, Turo, Rofie, Salam, Naufal dan Teman-teman **Teknik Geologi 2020 (Radar)** yang selalu mendukung dan membantu dalam penyusunan skripsi ini.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala saran dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini
Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat berbagai kelemahan dan kekurangan, sehingga kritik maupun saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi diri saya sendiri dan bagi orang lain yang menggunakannya.

Gowa, September 2024

Penulis

ABSTRAK

OFIR MARTHEN PALALLO. *Analisis Perubahan Kadar Cu, Au, dan Ag Dalam Konsentrat Tembaga Berdasarkan Based Time Systematic Sampling* (dibimbing oleh Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM)

Mengetahui kadar logam yang terkandung dalam konsentrat Tembaga sangat penting untuk penentuan harga dari konsentrat tersebut, namun sering kali dalam perlakuan terhadap konsentrat menghasilkan kadar yang tidak sesuai dengan yang seharusnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar logam yang terkandung dalam konsentrat serta mengetahui bagaimana pengaruh sistem sampling terhadap kadar logam yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan di Dewatering Plant, PT. Freeport Indonesia, Kab. Mimika, Provinsi Papua Tengah. Metodologi yang digunakan meliputi pengambilan sampel dengan tiga metode sampling yang berbeda, analisis laboratorium, serta diikuti dengan analisis statistik. Hasil penelitian menunjukkan kadar logam yang terkandung dalam konsentrat tembaga yaitu Cu, Au, dan Ag, serta menunjukkan perubahan kadar yang signifikan namun masih dikatakan terdistribusi normal, serta menunjukkan beberapa anomali dari data yang dihasilkan. Berdasarkan analisis tersebut, proses sampling dengan metode *based time systematic sampling* tidak representatif karena adanya fluktuasi yang terjadi dalam aliran konsentrat sehingga proses sampling yang terjadi tidak sistematis terhadap konsentrat sehingga kadar yang dihasilkannya juga tidak sesuai dengan yang seharusnya.

Kata kunci : *BTSS, BMSS, Konsentrat, Tembaga, Sampling, Cu, Au, Ag*

ABSTRACT

OFIR MARTHEN PALALLO. *Analysis of Changes in Cu, Au, and Ag Grades in Copper Concentrate Based on Time-Based Systematic Sampling* (Supervised by Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM)

Determining the metal content in copper concentrates is crucial for assessing their value. However, the processing of concentrates often results in metal grades that deviate from the expected values. This study aims to identify the metal content in the concentrate and evaluate the impact of the sampling system on the resulting metal grades. The research was conducted at the Dewatering Plant of PT Freeport Indonesia, Mimika Regency, Central Papua Province. The methodology involved collecting samples using three different sampling methods, laboratory analysis, and subsequent statistical analysis. The results showed that the metal content in the copper concentrate included Cu, Au, and Ag, with significant variations. However, the data was generally normally distributed, though some anomalies were observed. Based on the analysis, the sampling process using the Based Time Systematic Sampling (BTSS) method was found to be unrepresentative due to fluctuations in the concentrate flow. These fluctuations caused the sampling process to become unsystematic, leading to metal grades that did not align with the expected values.

Keywords: *BTSS, BMSS, Concentrate, Copper, Sampling, Cu, Au, Ag.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
LEMBAR PENGESAHAN	II
KATA PENGANTAR	III
ABSTRAK	V
ABSTRACT	VI
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR TABEL	VIII
DAFTAR GAMBAR	IX
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 MAKSUD DAN TUJUAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 LOKASI PENELITIAN DAN KESAMPAIAN DAERAH	2
1.5 MANFAAT PENELITIAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 GEOLOGI REGIONAL	4
2.1.1 Geomorfologi Regional	4
2.1.2 Stratigrafi Regional	5
2.1.3 Tektonik Regional	9
2.2 PROFIL PT. FREEPORT INDONESIA	10
2.3 SISTEM PENAMBANGAN	12
2.4 MINERAL PROCESSING	14
2.5 FLOTATION CONCENTRATION	16
2.6 PENGGUNAAN GEOSTATISTIK DALAM ANALISIS DATA	18
2.6.1 Distribusi Data	18
2.6.2 Perubahan Kadar	19
2.6.3 Uji Normalitas	19
BAB III METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN	20
3.1 TAHAPAN PENDAHULUAN	20

3.2	TAHAPAN PENGAMBILAN DATA	21
3.3	TAHAPAN ANALISIS DATA	25
3.3.1	Analisis Kandungan Logam Au dengan metode fire assay gravimetri	25
3.3.2	Analisis Kandungan Logam Cu dengan metode Titrasi Iodometri.....	31
3.3.3	Analisis Kandungan Logam Ag dengan metode Inductively Coupled Plasma (ICP)	34
3.4	TAHAP PENGOLAHAN DATA.....	35
3.5	TAHAP PEMBUATAN LAPORAN	35
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	HASIL.....	37
4.1.1	Laporan Analisis Logam Oleh PT. Freeport Indonesia.....	37
4.1.2	Hasil Pengambilan Sampel.....	40
4.1.3	Hasil Analisis Sampel	43
4.2	PEMBAHASAN	46
4.2.1	Kadar Cu, Au, dan Ag dalam Konsentrat Tembaga.....	46
4.2.2	Perubahan Kadar Cu, Au dan Ag	47
BAB V	PENUTUP	50
5.1	KESIMPULAN.....	50
5.2	SARAN.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Hasil analisis kandungan Cu pada pengambilan sampel dengan metode Based Mass Systematic sampling	40
Tabel 2 Hasil analisis kandungan Cu pada pengambilan sampel dengan metode Based Time Systematic sampling	41
Tabel 3 Hasil analisis kandungan Ag pada pengambilan sampel dengan metode Based Mass Systematic sampling	41
Tabel 4 Hasil analisis kandungan Ag pada pengambilan sampel dengan metode Based Time Systematic sampling	42
Tabel 5 Hasil analisis kandungan Au pada pengambilan sampel dengan metode Based Mass Systematic sampling	42
Tabel 6 hasil analisis kandungan Au pada pengambilan sampel dengan metode Based Time Systematic sampling	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Geologi regional pada area PT. Freeport Indonesia	5
Gambar 2 Stratigraphy of Grasberg Minerals District (PT. Freeport Indonesia). ...	6
Gambar 3 Grasberg Mine PT. Freeport Indonesia	13
Gambar 4 Underground mine PT. Freeport Indonesia.....	14
Gambar 5 Gyrotory crusher at the Grasberg open pit.	15
Gambar 6 Air bubbles at the top of a rougher flotation cell.	16
Gambar 7 Peta concentrating pt. freeport indonesia	17
Gambar 8 Buih dengan kandungan mineral berharga.....	18
Gambar 9 Cutter memotong aliran konsentrat dengan interval waktu atau tonase tertentu.....	22
Gambar 10 Pengaturan Sampler waktu interval waktu 6 menit.....	22
Gambar 11 Penimbangan Sampel awal.....	23
Gambar 12 Oven dengan suhu pengeringan 105 °C.....	23
Gambar 13 Pulverizer	24
Gambar 14 Sieve Sheker ukuran 200 mesh	24
Gambar 15 Sampel yang telah diberi label siap untuk dianalisis di laboratorium..	25
Gambar 16 Pengambilan sampel 15 gram untuk pengujian kadar Cu	26
Gambar 17 Penambahan Flux Concentrate	26
Gambar 18 Pembakaran Konsentrat dengan suhu 1050 °C.....	27
Gambar 19 Pemisahan lead botton dari slag	27
Gambar 20 Hasil pembakaran yang kedua dengan suhu 1050 ° C.....	28
Gambar 21 Prill yang tersisa setelah pembakaran ke tiga dengan suhu kurang lebih 950°C	28
Gambar 22 Flattening prill hingga berubah bentuk menjadi pipih	29
Gambar 23 Pelarutan perak yang melekat pada logam Au	29
Gambar 24 Pemurnian logam dengan HNO ₃	30
Gambar 25 Plate dimasukkan kembali ke dalam Muffle furnace	30
Gambar 26 proses penimbangan untuk penentuan kadar.....	30
Gambar 27 Penambahan larutan ke dalam konsentrat	31

Gambar 28 Larutan dipanaskan di atas Hotplate	32
Gambar 29 Penambahan Amonium pada larutan mengubah warna larutan menjadi biru	32
Gambar 30 Perubahan warna larutan dari biru menjadi coklat.....	33
Gambar 31 Perubahan warna larutan dari coklat menjadi ungu	33
Gambar 32 Perubahan warna larutan dari ungu menjadi putih.....	34
Gambar 33 Inductively Coupled Plasma (ICP).....	35
Gambar 34 Diagram alir Metodologi Penelitian.....	36
Gambar 35 Kadar Cu (Copper) yang terdapat dalam konsentrat tembaga dalam 26 tahun terakhir.....	37
Gambar 36 Kadar Au (gold) yang terdapat dalam konsentrat tembaga dalam 26 tahun terakhir.....	38
Gambar 37 Kadar Ag (Silver) yang terdapat dalam konsentrat tembaga dalam 14 tahun terakhir.....	38
Gambar 38 Kadar Cu (Copper) yang terdapat dalam konsentrat tembaga dalam rentang waktu Januari-November 2023	39
Gambar 39 Kadar Au (Gold) yang terdapat dalam konsentrat tembaga dalam rentang waktu Januari-November 2023	39
Gambar 40 Kadar Ag (Silver) yang terdapat dalam konsentrat tembaga dalam rentang waktu Januari-November 2023	40
Gambar 41 Histogram perbandingan distribusi kadar Cu.....	44
Gambar 42 Histogram perbandingan distribusi kadar Au	45
Gambar 43 Histogram perbandingan distribusi kadar Ag	46
Gambar 44 Uji Normalitas Kadar Au pada ketiga teknik pengambilan sampel	47
Gambar 45 Uji Normalitas Kadar Cu pada ketiga teknik pengambilan sampel	48
Gambar 46 Uji Normalitas Kadar Ag pada ketiga teknik pengambilan sampel	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan penambangan endapan bijih di Indonesia saat ini sudah banyak dilakukan baik itu yang dilakukan secara konvensional, maupun yang dilakukan dengan menggunakan peralatan modern. Kegiatan pertambangan modern ini memiliki tujuan sendiri seperti untuk efisiensi waktu, jumlah produksi, maupun kerugian lain yang dapat terjadi saat pertambangan.

PT Freeport Indonesia (PTFI) merupakan salah satu perusahaan besar yang telah melakukan penambangan di Indonesia sejak tahun 1967. PT. Freeport Indonesia melakukan penambangan bijih yang menghasilkan konsentrat tembaga, emas, dan perak di pegunungan Sudirman, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah, Indonesia, dengan metode penambangan *open pit* yang telah memasuki tahap akhir, dan *underground* yang masih sementara berjalan proses penambangannya.

Hasil tambang dari pegunungan akan dikirim ke Pelabuhan Amamapare dalam bentuk *slurry*, yaitu konsentrat yang dicampurkan dengan air sehingga mudah dialirkan ke daerah rendah. Sebelum dikirim ke berbagai negara untuk diolah menjadi bahan baku, kadar konsentrat akan dianalisis terlebih dahulu untuk menentukan harga konsentrat yang akan dikirim nantinya.

Kadar logam yang terkandung dalam konsentrat berdasarkan analisis dapat berubah tergantung bagaimana perlakuan terhadap konsentrat yang dimiliki. Salah satu faktor yang mempengaruhi kadar logam tersebut adalah bagaimana sistem sampling yang digunakan untuk memberikan gambaran kadar logam dalam konsentrat. Perubahan kadar logam yang sering kali terjadi menjadi faktor pendorong untuk dilakukannya penelitian ini, guna mengetahui bagaimana pengaruh sistem sampling tersebut terhadap perubahan kadar logam dalam konsentrat tembaga.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mempelajari kadar logam Cu, Au dan Ag yang terkandung dalam konsentrat serta bagaimana sistem sampling konsentrat tembaga merepresentasikan kadar logam tersebut.

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini di PT. Freeport Indonesia :

1. Mengetahui kadar Cu, Au, dan Ag yang terkandung dalam konsentrat tembaga pada PT. Freeport Indonesia
2. Mengetahui perubahan kadar Cu, Au dan Ag berdasarkan metode *Based time systematic sampling* pada PT. Freeport Indonesia

1.3 Batasan Masalah

Adapun penulis membatasi permasalahan dalam penelitian pada Analisis kadar C, Au dan Ag dalam konsentrat tembaga berdasarkan pengambilan sampel dengan metode *based mass systematic sampling* dan *based time systematic sampling* di PT. Freeport Indonesia Kab. Mimika Provinsi Papua Tengah yaitu :

1. Pengambilan sampel konsentrat hanya dilakukan pada Pelabuhan amamapare tepatnya di divisi Dewatering Plant bagian Quality Control
2. Pengujian kadar logam dilakukan di lab Sucofindo, Kuala Kencana.
3. Analisis kadar yang diteliti dalam konsentrat merupakan logam berharga, yaitu Cu, Au, dan Ag
4. *Database* yang digunakan untuk mendukung tugas akhir ini menggunakan data terbaru pada bulan November 2023.

1.4 Lokasi Penelitian dan Kesampaian daerah

Secara geografis daerah penelitian termasuk dalam Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah. Lokasi yang menjadi objek penelitian yaitu Portsite (Dewatering Plant) yang termasuk ke dalam wilayah operasi PT. Freeport Indonesia. Daerah penelitian dapat dijangkau melalui transportasi udara selama kurang lebih 2 jam dari bandara sultan hasanuddin ke bandara mozes kilangin kemudian ditempuh dengan kendaraan darat yaitu menggunakan bus kurang lebih 60 menit yang berangkat dari *Station 924 Basecamp* di *mill 28* kemudian

menuju *Cargodog* lalu dilanjutkan dengan menaiki kapal kecil dan menyebrang selama 10 menit menuju Pelabuhan Amamapare. Pengamatan dan pengambilan data penelitian dilakukan pada pabrik Dewatering Plant dan untuk analisis dan uji lab dilakukan di Lab Sucofindo Kuala Kencana yang bisa ditempuh dengan menggunakan bus kurang lebih 40 menit yang berangkat dari *Cargodog* kemudian menuju ke kuala kencana di *mill 32*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian berdasarkan maksud dan tujuan penelitian yang telah diuraikan di atas adalah

1. Keilmuan

Menambah referensi terkait sistem pengambilan sampel pengujian dan analisis kadar logam pada konsentrat PT. Freeport Indonesia.

2. Mahasiswa yang melakukan penelitian

- 1) Dapat menyelesaikan tugas akhir atau skripsi untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Geologi.
- 2) Dapat mengetahui dan memahami Teknik pengambilan sampel dan cara analisis kadar logam pada konsentrat PT. Freeport Indonesia.
- 3) Dapat mengaplikasikan ilmu pada perkuliahan ke dalam dunia kerja, khususnya dalam bidang mineral dan geokimia

3. Institusi

- 1) Menambah koleksi perpustakaan Universitas Hasanuddin, khususnya Program Studi Teknik Geologi.
- 2) Menjalinkan kerja sama antara universitas dengan perusahaan.
- 3) Sebagai upaya media promosi calon lulusan sarjana dengan penelitian yang dilakukan di perusahaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Secara regional Wilayah kerja PTFI didasarkan pada hasil peneliti terdahulu oleh E. Rusmana, K. Parris, U. Sukanta dan H. Samodra, (1995) daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Timika skala 1 : 250.000. Berada pada zona subduksi antara Lempeng Australia yang bergerak ke utara dan Lempeng Indopasifik yang bergerak ke arah barat daya. Pada zona subduksi ini terjadi intrusi magma yang menembus lapisan batuan sedimen yang terbentuk terlebih dahulu. Adanya intrusi tersebut memungkinkan terjadinya proses mineralisasi yang kompleks sehingga menghasilkan zona yang kaya mineral.

2.1.1 Geomorfologi Regional

Secara garis besar topografi dan morfologi pada daerah Kontrak Karya PT Freeport Indonesia sangat bervariasi. Pada daerah pelabuhan, pantai dan rawa tersebar hutan bakau (*mangrove*) yang cukup luas. Makin ke atas, kondisi topografi makin terjal dan dominasi hutan bakau berkurang dan berganti menjadi rawa nipa atau sagu. Pada jarak 40 km dari garis pantai, daerah didominasi dengan hutan yang lebat dengan pepohonan yang homogen dengan bentuk topografi umum jurang yang terjal.

Pada daerah Tembagapura dengan ketinggian sekitar 2.000 m dpl, terdapat banyak jurang dan dinding batuan yang terjal, air terjun dan Lembah-lembah yang curam. Pada sekitar daerah penambangan, pada ketinggian 2.800 – 4.000 mdpl hampir tidak ditemukan adanya pepohonan, dimana daratan hanya didominasi oleh tanaman perdu, rumput liar dan lumut.

Hal ini diakibatkan karena ketinggian yang cukup tinggi, sehingga hanya beberapa tanaman yang dapat tumbuh. Pada beberapa daerah, kadang diselubungi oleh salju yang menutupi daratan. Pada daerah ini, terdapat pula pegunungan yang membentuk lipatan yang curam dan terjal yang disertai oleh patahan-patahan. Berdasarkan topografi, daerah Kontrak Karya PT Freeport Indonesia dapat dibagi menjadi dua, yaitu *lowland dan highland* (Mahler,2008)

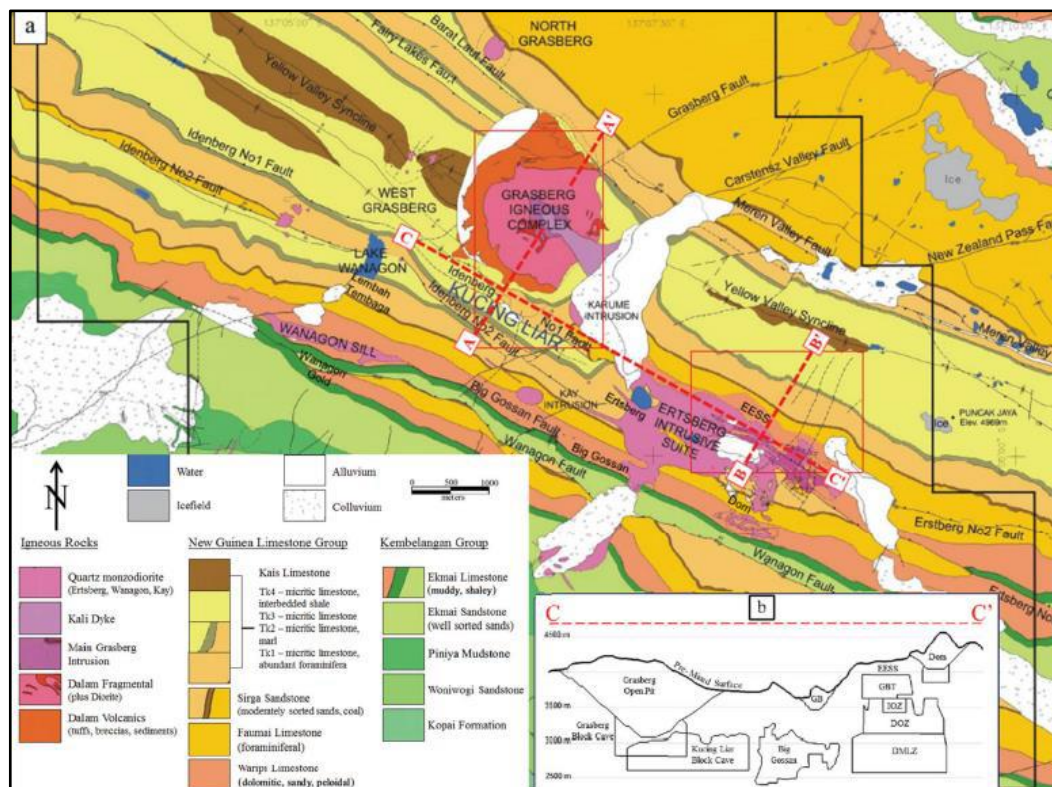
2.2.1.1 Daerah Dataran Rendah (*lowland*)

Daerah dataran rendah (*lowland*), merupakan dataran rendah yang mencakup lokasi pelabuhan Amamapare (*portsite*), Timika, perumahan karyawan dan kantor administrasi di Kuala Kencana serta beberapa lokasi pendukung lainnya. Daerah *Lowland* merupakan topografi yang relatif datar dengan elevasi antara 10 mdpl sampai 2.000 mdpl

2.2.1.2 Daerah Dataran Tinggi (*Highland*)

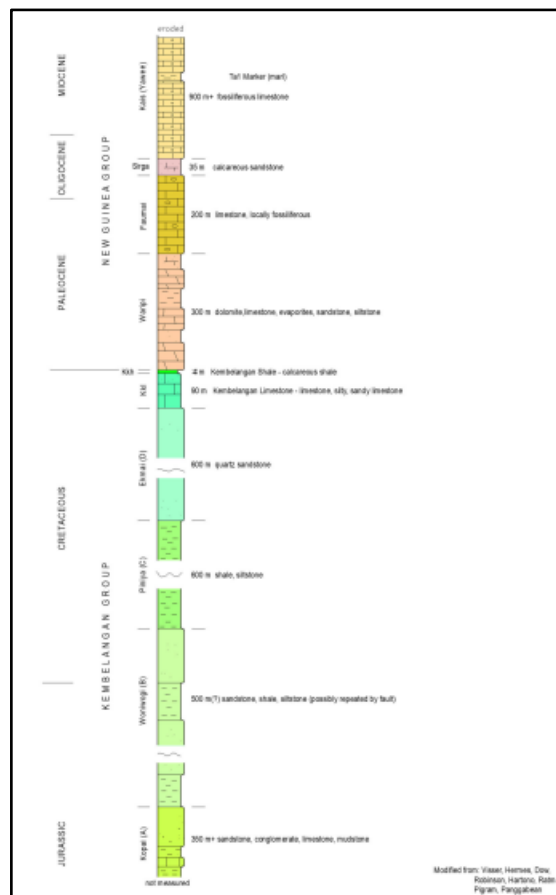
Daerah dataran tinggi (*Highland*), merupakan dataran tinggi yang mencakup perumahan karyawan mulai dari *mile 66 (Hidden Valley)*, *mile 68 (Tembagapura)*, *mile 72 (Ridge Camp)*, *mile 74 (mill site)* hingga ke lokasi tambang bawah tanah dan tambang terbuka *Grasberg*. Daerah *Highland* merupakan rangkaian dari pegunungan Jayawijaya merupakan topografi yang berbukit dengan ketinggian 2.000 mdpl sampai 4.200 mdpl. Lokasi penambangan berada pada ketinggian sekitar 2.800 mdpl sampai 4.000 mdpl

2.1.2 Stratigrafi Regional



Gambar 1 Peta Geologi regional pada area PT. Freeport Indonesia

Stratigrafi regional dari area kontrak karya PT. Freeport Indonesia terdiri batuan tertua yang tersingkapkan pada daerah ini adalah kelompok kembelangan. Kelompok ini terdiri dari Formasi Kopai, Formasi Woniwogi, Formasi Piniya, dan Formasi Ekmai. Diatas Kelompok Kembelangan diendapkan secara selaras Kelompok *New Guinea Limestone*, yang terdiri dari Formasi Waripi, Formasi Faumai, Formasi Sirga, dan Formasi Kais. Diatas Kelompok Batugamping New Guinea diendapkan Formasi Buru. Setelah Formasi Buru, diendapkan batuan vulkanik Miosen Akhir sampai Pliosen, Konglomerat Kuartar, dan terakhir Sedimen Glasial Kuartar.



Gambar 2 *Stratigraphy of Grasberg Minerals District (PT. Freeport Indonesia).*

Kelompok Kembelangan

Pigram dan Panggabean (1982) mengelompokkan formasi-formasi Kembelangan menjadi empat formasi, yaitu Formasi Kopai, Formasi Woniwogi, Formasi Piniya, dan Formasi Ekmai.

Formasi Kopai

Formasi Kopai memiliki ketebalan 1400 ± 300 meter. Formasi ini terdiri dari lapisan batupasir berukuran butir pasir halus sampai pasir sedang, dan memiliki struktur silang siur. Berdasarkan kontak selang-seling dengan formasi dibawahnya, Formasi Tipuma, dan batupasir lentikuler dan silang siur dibagian bawah formasi.

Formasi Wonowogi

Formasi Woniwogi memiliki ketebalan 1000 ± 200 meter. Formasi ini memiliki ciri-ciri yaitu sortasi buruk, ukuran butir kasar hingga kerikil dengan matriks berukuran sangat halus berupa kuarsa, mineral opak, dan klorit. Alterasi yang terjadi berupa alterasi silisifikasi dan mineralisasi sulfida

Formasi Piniya

Formasi Piniya memiliki ketebalan 1550 ± 300 meter. Formasi ini terdiri dari batulanau-batulempung dengan struktur laminasi hingga masif, sortasi baik, perulangan batupasir halus dengan unit batuan yang lebih halus.

Formasi Ekmai

Formasi Ekmai memiliki ketebalan 650 ± 100 meter. 500 meter dari bagian bawah tersusun dari batupasir arenit kuarsa dan 90 meter dari bagian atas terdiri dari batulempung dan batugamping, dan 20 meter teratas merupakan sekuen batulanau karbonatan..

Kelompok Batugamping *New Guinea*

Menurut Ufford (1996), kelompok Batugamping *New Guinea* dibagi menjadi 4 formasi, yaitu Formasi Waripi, Formasi Faumai, Formasi Sirga, dan Formasi Kais.

Formasi Waripi

Formasi Waripi memiliki ketebalan 280-400 meter. Formasi ini terdiri dari batu dolomit, batugamping, batupasir arenit kuarsa dan 2 meter lapisan anhidrit

Formasi Faumai

Formasi Faumai memiliki ketebalan 200- 300 meter yang diendapkan diatas formasi Waripi. Formasi ini berumur Eosen dan terdiri dari foraminifera, batugamping packstone peloidal dengan dolomit dan kuarsa yang sedikit.

Formasi Sirga

Formasi Sirga memiliki ketebalan 40 meter. Formasi ini memiliki umur Oligosen - pertengahan Miosen dan diendapkan tidak selaras diatas formasi Faumai. Batupasir arenit kuarsa dengan kandungan arenit kuarsa foraminifera yang semakin keatas semakin banyak menunjukkan lingkungan pengendapan berada pada lingkungan transgresif bercampur dengan endapan fluvial dan laut dangkal.

Formasi Kais

Formasi Kais memiliki ketebalan 1100 - 1300 meter, yang terdiri dari batugamping packstone alga merah dan foraminifera. Formasi ini diendapkan secara gradasional diatas formasi Sirga. Bagian atas mengandung lapisan batubara. Umur formasi ini adalah Oligosen sampai pertengahan Miosen.

Formasi Buru

Formasi Buru memiliki ketebalan 6000 meter (Visser dan Hermes, 1962 dalam Ufford, 1996). Formasi ini terdiri dari batugamping berukuran butir pasir halus, lapisan konglomerat yang jarang, klastika karbonan dan karbonatan, dan batulempung masif dengan fosil pelesipoda dan gastropoda.

Vulkanik Miosen Akhir sampai Pliosen

Formasi ini terdiri dari tuff mafik, lahar, dan piroklastik (Parris, 1994 dalam Ufford, 1996). Analisis umur K-Ar pada vulkanik menunjukkan umur 7,0 - 5,2 juta tahun yang lalu. Batuan vulkanik merupakan bagian dari Kompleks Batuan Beku Grasberg (MacDonald dan Arnold, 1994 dalam Ufford, 1996). Luas area vulkanik Grasberg adalah <4 km² dan ketebalan belum diketahui, tetapi kemungkinan memiliki ketebalan ratusan meter.

Sedimen Konglomerat dan Glasial Kuarter

Pegunungan Tengah Papua memiliki jurang dibagian selatan, dan kehadiran jurang ini menghasilkan sedimen konglomerat, sedangkan sedimen glasial kuarter terbentuk dari proses glasiasi terakhir pada puncak Pegunungan Tengah Papua (4000 meter diatas permukaan laut).

2.1.3 Tektonik Regional

Pada umumnya deformasi Pegunungan Tengah Papua terjadi sekitar 12 juta sampai 4 juta tahun yang lalu. Menurut Ufford (1996), deformasi tersebut dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

Tahap 1 (12 – 4 juta tahun yang lalu)

Sebelum 12 juta tahun yang lalu, batuan terendapkan pada batas lempeng pasif yang stabil. Sejak 12 juta tahun yang lalu, lipatan dengan skala kilometer mulai terbentuk pada bagian tepi benua Australia bagian utara. Bagian tepi tersebut menunjam di zona penunjaman lempeng Pasifik dengan arah kemiringan timur laut. Kebanyakan gerakan yang terhitung memiliki trend 65°. Sesar yang terbentuk adalah sesar Wanagon, sesar *Ertsberg II*, dan sesar *Meren Valley*

Setelah penunjaman, pra-kolisi mulai terjadi dengan naiknya permukaan pada batas lempeng benua Australia bagian utara. Sedimen yang paling muda, Formasi Buru, mulai terangkat. Pada 8 juta tahun yang lalu, kolisi mulai terjadi, dan pengangkatan yang terbesar terjadi pada 6 juta tahun yang lalu. Peristiwa ini mengakibatkan intrusi magma dan vulkanisme terkumpul disepanjang dasar pegunungan, sehingga magma mafik yang berasal dari mantel bagian atas akan mendorong bagian dasar kerak, dan bagian bawah kerak akan bercampur dengan batuan samping yang leleh.

Tahap 2 (4-2 tahun yang lalu)

Tahap kedua merupakan pembentukan deformasi yang relatif kecil, hanya ratusan hingga satu kilometer. Arah sesar geser mengiri sejajar dengan arah lapisan batuan. Sesar-sesar geser utama seperti sesar Wanagon, sesar *Ertsberg I* dan *II*, dan sesar *Meren Valley* memiliki breksi, *dike*, dan mineralisasi yang menunjukkan bahwa sesar geser ini merupakan faktor signifikan dalam terbentuknya delaminasi atau celah intrusi dan permeabilitas untuk mengalirnya fluida hidrotermal. Pada 2 juta tahun yang lalu, proses magmatik berhenti karena delaminasi berhenti. Bagian astenosfer mendingin dan berubah menjadi mantel litosfer. Pergerakan mendatar diperkirakan memiliki total sejauh 10 kilometer

2.2 Profil PT. Freeport Indonesia

Pada tahun 1960-an, perhatian terhadap sumber daya mineral di Indonesia semakin meningkat. Pemerintah Indonesia yang baru merdeka pada tahun 1945, mulai membuka diri terhadap investasi asing untuk mengembangkan sumber daya alamnya. Freeport Sulphur Company, yang berbasis di Amerika Serikat, melihat peluang ini dan mulai melakukan pendekatan untuk mengeksplorasi potensi tambang di Papua.

Pada tahun 1967, Freeport Indonesia Incorporated (FII) didirikan dan menandatangani Kontrak Karya (KK) pertama dengan pemerintah Indonesia. Kontrak ini memberikan hak eksklusif kepada Freeport untuk mengeksplorasi dan menambang di area yang telah ditentukan. Ini adalah kontrak karya pertama yang ditandatangani oleh pemerintah Indonesia dengan perusahaan asing setelah Undang-Undang Penanaman Modal Asing disahkan pada tahun 1967.

Setelah penandatanganan kontrak, Freeport mulai mengembangkan infrastruktur yang diperlukan untuk memulai operasi penambangan di Ertsberg. Infrastruktur yang dibangun termasuk jalan akses, kamp pekerja, dan fasilitas pengolahan bijih. Pembangunan infrastruktur ini tidak mudah karena medan yang sangat sulit dan terpencil.

Pada tahun 1973, tambang Ertsberg mulai beroperasi. Tambang ini segera menjadi salah satu tambang tembaga dan emas terbesar di dunia, dengan produksi awal yang mencapai puluhan ribu ton bijih setiap hari. Operasi di tambang Ertsberg berjalan lancar, dan Freeport terus berinvestasi dalam pengembangan infrastruktur dan teknologi penambangan.

Penemuan Tambang Grasberg adalah tonggak penting dalam sejarah Freeport Indonesia. Pada tahun 1988, geologis Freeport menemukan cadangan besar tembaga dan emas di dekat lokasi tambang Ertsberg. Cadangan ini jauh lebih besar daripada yang ditemukan di Ertsberg dan menjadi salah satu penemuan tambang terbesar di abad ke-20.

Tambang Grasberg memiliki cadangan tembaga dan emas yang sangat besar, menjadikannya salah satu tambang paling penting di dunia. Produksi dari tambang Grasberg dimulai pada awal 1990-an dan terus berkembang pesat. Freeport menginvestasikan miliaran dolar untuk mengembangkan tambang ini,

termasuk pembangunan infrastruktur yang lebih besar dan teknologi penambangan canggih.

Selama dekade 1990-an hingga awal 2000-an, Freeport Indonesia terus mengembangkan operasinya. Tambang bawah tanah mulai dikembangkan untuk menggantikan penambangan terbuka di Grasberg yang mulai mencapai akhir masa produksinya. Investasi besar-besaran dilakukan untuk teknologi dan infrastruktur guna mendukung operasi tambang bawah tanah yang lebih kompleks dan efisien.

Pengembangan tambang bawah tanah ini termasuk pembangunan berbagai terowongan, ruang bawah tanah, dan sistem pengangkutan bijih yang canggih. Teknologi yang digunakan mencakup bor jumbo, sistem ventilasi canggih, dan teknologi pengolahan bijih yang modern. Tambang bawah tanah ini memungkinkan Freeport untuk mengeksploitasi cadangan bijih yang lebih dalam dan lebih sulit dijangkau.

PT Freeport Indonesia memiliki beberapa tambang bawah tanah yang masih beroperasi dan yang akan segera beroperasi, yaitu

1) Tambang DOZ

Tambang DOZ adalah salah satu tambang bawah tanah pertama yang dikembangkan oleh Freeport Indonesia. Tambang ini mulai beroperasi pada tahun 2000. Tambang DOZ menggunakan metode penambangan block caving, yang melibatkan pemecahan massa bijih yang besar sehingga bijih jatuh ke bawah karena gravitasi dan kemudian diangkat ke permukaan untuk diproses. DOZ dikenal karena kandungan tembaga dan emasnya yang tinggi.

2) Tambang DMLZ

Tambang DMLZ mulai beroperasi pada tahun 2015. Tambang ini juga menggunakan metode penambangan block caving. DMLZ dirancang untuk menggantikan sebagian produksi dari tambang terbuka Grasberg yang mulai habis. Tambang ini memiliki cadangan mineral yang signifikan dan berkontribusi besar terhadap produksi tembaga dan emas Freeport Indonesia.

3) Tambang GBC

Tambang Grasberg Block Cave (GBC) adalah tambang bawah tanah besar yang mulai beroperasi pada tahun 2018. GBC menggunakan metode penambangan block caving dan dirancang untuk menjadi salah satu tambang bawah tanah terbesar

di dunia. Dengan cadangan tembaga dan emas yang melimpah, GBC diharapkan menjadi tulang punggung operasi tambang Freeport Indonesia dalam beberapa dekade mendatang.

4) Tambang Big Gossan

Tambang Big Gossan mulai beroperasi pada tahun 2010. Berbeda dengan tambang lain yang menggunakan metode block caving, Big Gossan menggunakan metode open stoping dan cut-and-fill. Tambang ini memiliki cadangan tembaga dan emas yang signifikan, dan produksinya berkontribusi terhadap output total Freeport Indonesia.

Pada tahun 2018, terjadi perubahan signifikan dalam struktur kepemilikan PT Freeport Indonesia. Pemerintah Indonesia, melalui PT Indonesia Asahan Aluminium (Inalum), mengambil alih mayoritas saham Freeport Indonesia. Proses ini merupakan bagian dari upaya pemerintah untuk meningkatkan kendali nasional atas sumber daya alam dan membawa lebih banyak manfaat ekonomi bagi Indonesia.

2.3 Sistem Penambangan

Pertambangan adalah suatu proses pengambilan sumber daya dari dalam permukaan bumi berupa mineral atau bahan tambang lainnya, yang mana dalam prosesnya melibatkan berbagai kegiatan seperti eksplorasi, pengambilan sumber daya, pengolahan hasil tambang, hingga penjualan hasil tambang. Aktivitas ini tidak hanya berfokus pada pengambilan sumber daya alam, tetapi juga melibatkan manajemen yang kompleks terkait dengan dampak sosial, lingkungan, dan ekonomi yang ditimbulkannya. Pertambangan sendiri menurut undang-undang No. 4 pasal 1 tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan Batubara yaitu sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang. Dari pengertian tersebut dapat diartikan berbagai kegiatan pertambangan yang dapat dilakukan sebelum penambangan, proses penambangan maupun sesudah proses penambangan.

Proses penambangan yang terjadi saat ini menggunakan berbagai metode penambangan tergantung dari bahan tambang, kondisi geologi, dan parameter-parameter lainnya yang berdampak pada nilai ekonomis suatu tambang. Metode penambangan secara umum dapat dibagi menjadi dua, yaitu Surface mining dan *underground mining*, (Hartman dan Mutmnasky, 2002)

1. *Surface mining*



Gambar 3 Grasberg Mine PT. Freeport Indonesia

Surface mining atau penambangan permukaan adalah metode ekstraksi mineral dari deposit yang terletak di dekat atau di atas permukaan tanah. Metode ini melibatkan penggalian lubang atau pit besar di permukaan bumi untuk mengakses deposit mineral. *Surface mining* efektif digunakan untuk deposit yang luas, dangkal, dan terbuka, yang membuatnya menjadi metode yang paling umum digunakan untuk mengekstraksi mineral seperti batubara, tembaga, emas, dan bijih besi. Penambangan di permukaan dapat dibagi lagi menjadi beberapa teknik penambangan seperti *open pit*, *quarrying*, dan *strip*.

2. *Underground mining*

Underground mining atau penambangan bawah tanah adalah metode ekstraksi mineral atau bahan tambang dari deposit yang terletak di bawah permukaan tanah. Metode ini melibatkan pembuatan terowongan, galeri, dan ruang kosong di dalam batuan untuk mencapai dan mengekstraksi deposit mineral. *Underground mining* digunakan ketika deposit mineral terlalu dalam atau terlindungi oleh lapisan tanah yang tebal untuk dieksploitasi dengan metode *surface mining*. *Underground mining* ini dapat kita bagi lagi menjadi beberapa teknik penambangan seperti *Stopes mining* dan *block caving*.



Gambar 4 Underground mine PT. Freeport Indonesia

2.4 Mineral Processing

Proses pengambilan sumber daya dari dalam bumi tidak dapat langsung digunakan, akan tetapi memerlukan serangkaian proses terlebih dahulu hingga pada akhirnya dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Mineral processing* adalah praktik pemurnian mineral berharga dari bijihnya melalui serangkaian proses perlakuan fisik dan kimia (A. Mular dan D. Bhappu, 1980). Adapun tahapan dalam pengolahan hasil tambang yaitu sebagai berikut:

1. Kominusi : Kominusi adalah tahap awal dalam pengolahan mineral yang melibatkan penghancuran bijih mineral mentah menjadi ukuran yang lebih kecil. Tujuan utama dari kominusi adalah untuk memfasilitasi pemisahan mineral berharga dari batuan pengotor (*gangue*) yang mengelilingi mereka dan

meningkatkan luas permukaan butir mineral. Kominusi dapat dicapai melalui berbagai teknik seperti penghancuran (*crushing*) dan penggilingan (*grinding*) menggunakan peralatan seperti *jaw crusher*, *cone crusher*, *ball mill*, atau *SAG mill*. (Prameswara dkk. 2023)



Gambar 5 *Gyratory crusher at the Grasberg open pit.*

2. **Benefisiasi:** Benefisiasi adalah tahap berikutnya setelah kominusi yang melibatkan pemisahan mineral berharga dari material pengotor (*gangue*) dan peningkatan kadar mineral berharga dalam bijih. Ini bertujuan untuk menghasilkan konsentrat mineral yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Benefisiasi melibatkan berbagai teknik seperti flotasi, gravitasi, pemisahan magnetik, dan proses kimia seperti pelindian (*leaching*) atau elektrolisis. Teknik yang digunakan tergantung pada sifat-sifat mineral dan komposisi bijih. (Prameswara dkk. 2023)



Gambar 6 Air bubbles at the top of a rougher flotation cell.

Hasil dari proses pengolahan mineral tersebut akan menghasilkan produk baru yang disebut dengan konsentrat. konsentrat sendiri dapat didefinisikan produk hasil pengolahan mineral yang mengandung persentase tinggi dari mineral berharga setelah melalui proses pemisahan dan peningkatan kadar mineral. Konsentrat Tembaga

2.5 Flotation Concentration

Pabrik pengolahan menghasilkan konsentrat tembaga dari bijih yang ditambang dengan memisahkan mineral berharga dari pengotor yang menutupinya. Langkah-langkah utamanya adalah penghancuran, penggilingan, pengapungan dan pengeringan. Penghancuran dan penggilingan mengubah besaran bijih menjadi ukuran pasir halus guna membebaskan butiran yang mengandung tembaga dan emas untuk proses pemisahan dan untuk menyiapkan ukuran yang sesuai untuk proses selanjutnya. Pengapungan (*flotation*) adalah proses pemisahan yang digunakan untuk menghasilkan konsentrat tembaga. Reagen flotasi yang digunakan dalam proses flotasi untuk memisahkan konsentrat dari bijih mengalami penguapan dengan cepat dan tidak dapat dideteksi, bahkan pada jarak dekat dari pabrik pengolahan. Bubur konsentrat (*slurry*) yang terdiri dari bijih yang sudah halus (hasil gilingan) dan air dicampur dengan reagen, dimasukkan ke dalam serangkaian tangki

pengaduk yang disebut dengan sel flotasi, kemudian udara dipompa ke dalam slurry tersebut (PT. Freeport Indonesia, 2007).



Gambar 7 Peta concentrating pt. freeport indonesia

Reagen yang digunakan adalah kapur/lime (CaO), pembuih (*frother*) dan kolektor. Pembuih membentuk gelembung yang stabil, yang mengangkat ke permukaan sel flotasi sebagai buih. Reagen kolektor bereaksi dengan permukaan partikel mineral sulfida logam berharga sehingga menjadikan permukaan tersebut bersifat menolak air (*hidrofobik*). Butir mineral sulfida yang *hidrofobik* tersebut menempel pada gelembung udara yang terangkat dari zona *slurry* ke dalam buih yang mengapung di permukaan sel. Buih yang bermuatan mineral tersebut, yang menyerupai buih deterjen metalik, meluap dari bibir atas mesin flotasi ke dalam palung (*launders*) sebagai tempat pengumpulan mineral berharga. Mineral berharga yang terkumpul di dalam palung tersebut adalah konsentrat. Konsentrat (dalam bentuk *slurry*, 65% padat menurut berat) dipompa ke pelabuhan melalui tiga jaringan pipa *slurry* sepanjang 115 Km (PT. Freeport Indonesia, 2007).



Gambar 8 Buih dengan kandungan mineral berharga

2.6 Penggunaan Geostatistik Dalam Analisis Data

Penggunaan statistik dalam suatu penelitian yang memberikan sekumpulan data sangat penting karena dengan melibatkan ilmu statistik dalam penelitian memberikan kita analisis data yang akurat berdasarkan data yang dimiliki, memberikan penilaian hubungan dan pengaruh dari data, menyediakan landasan dalam pengambilan keputusan, sebagai uji hipotesis awal, serta memberikan hasil secara jelas yang mudah dipahami.

2.6.1 Distribusi Data

Data merujuk pada fakta, angka, atau informasi yang dikumpulkan dan kemudian digunakan dalam analisis dan pengambilan keputusan. Menurut Sugiyono (2008), data dapat dibagi dua, yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer adalah sumber data yang langsung memberikan data kepada orang yang mengumpulkan data. Contoh dari data primer adalah pengambilan data langsung pada suatu sistem sampling. Sedangkan data sekunder adalah data yang didapatkan dari hasil penelitian atau sumber yang sudah ada sebelumnya. Contoh dari data sekunder sendiri adalah data penelitian pada suatu perusahaan 3 tahun terakhir. (Sugiyono, 2008)

Distribusi data sendiri dapat diartikan bagaimana cara data itu disebar atau didistribusikan dalam suatu rentang nilai. Menurut McDonald (2014), Distribusi data adalah pola yang ditunjukkan oleh data yang diorganisasi. Ini mencakup

frekuensi kemunculan setiap nilai dalam data set dan membantu dalam memahami karakteristik statistik seperti mean, median, dan varians.

2.6.2 Perubahan Kadar

Kadar suatu zat dapat saja berubah tergantung bagaimana zat itu mendapatkan perlakuan, baik itu metode pengambilan sampel, penambahan zat lain, atau faktor lainnya yang mempengaruhi konsentrasi suatu zat. Perubahan kadar merujuk pada fluktuasi dalam konsentrasi analit yang terdeteksi selama proses analisis, yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, pH, atau waktu. Perubahan ini penting untuk dipantau dalam analisis kimia untuk memastikan akurasi dan konsistensi hasil (Skoog, dkk. 2004)

2.6.3 Uji Normalitas

Uji normalitas suatu data dilakukan untuk mengetahui data yang dimiliki apakah terdistribusi normal atau sebaliknya. Data yang banyaknya lebih dari 30 ($n > 30$) dapat kita asumsikan terdistribusi normal. Tetapi untuk memberikan kepastian data tersebut terdistribusi normal atau tidak sebaiknya digunakan uji normalitas untuk memberikan kepastian (Imran, 2017)

Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk uji normalitas suatu data, yaitu Uji Chi-Kuadrat, uji Liliefors, Kolmogorv Smirnov, dan teknik pengujiannya. Normalitas terpenuhi jika hasil uji signifikan untuk suatu taraf signifikansi (α) tertentu (biasanya $\alpha = 0,05$ atau $\alpha = 0,01$). Misalkan digunakan taraf signifikansi (α)=0.05, jika signifikansi yang diperoleh $> \alpha$, maka sampel dapat dikatakan terdistribusi normal, sebaliknya jika signifikansi $< \alpha$, maka sampel dikatakan bukan berasal dari populasi terdistribusi normal (Imran, 2017).